

TK 155.471

16

KFKI-1983-17

DUS MAGDOLNA
PERNECZKY LÁSZLÓ
SZABADOS LÁSZLÓ

AZ SSYST-2 PROGRAMRENDSZER
HONOSÍTÁSI EREDMÉNYEI

Hungarian Academy of Sciences

CENTRAL
RESEARCH
INSTITUTE FOR
PHYSICS

BUDAPEST

2007

5) KFKI-1983-17

SPEC: 11-016

6) 42

3x

2) AZ SSYST-2 PROGRAMRENDSZER HONOSÍTÁSI EREDMÉNYEI

mind BEK

1) DUS MAGDOLNA, PERNECZKY LÁSZLÓ, SZABADOS LÁSZLÓ
Központi Fizikai Kutató Intézet
1525 Budapest 114, Pf. 49

KIVONAT

A dolgozat az SSYST-2 programrendszer honosítási tapasztalatait, ill. eredményeit foglalja össze. Az alapvető modulok honosítása eredményeképpen példát mutat be a stacionárius adatmező számítására.

1. BEVEZETÉS

Az SSYST számítógépi kódrendszert az NSzK-ban, a Stuttgarter Müegyetem Institut für Kernenergetik und Energiesystemen /IKE/ és a Kernforschungszentrum Karlsruhe /KfK/ több intézetében /IRE, INR, IRB/ a Projekt Nukleare Sicherheit /PNS/ megbízása alapján fejlesztették ki a könnyűvízhűtésű atomreaktorok fűtőelemeinek a normál üzemi állapottól eltérő, üzemzavarai folyamatok alatti viselkedésének vizsgálatára [1]. Az SSYST-1 első változat 1977-ben készült el, míg a továbbfejlesztett, IBM számítógépre orientált SSYST-2 verzió 1979. óta üzemel, és 1982 óta hozzáférhető a NEA-Data Bank szolgáltatásai keretében.

A tanulmány összefoglalja az SSYST-2 programmal kapcsolatos legfontosabb tudnivalókat, annak moduláris felépítését és kitér a futtatás előkészítésének folyamatára. A kód felhasználói a más programoknál megszokott input-adat előkészítéstől jelentősen eltérő feladattal találják magukat szemben, amennyiben feladattól függően a felhasználónak kell összeszerkeszteni a használandó modulokat és speciális vezérlő nyelv segítségével generálni a szükséges adatbázisokat [2].

A tanulmány egy mintafeladat keretében illusztrálja ezt a tevékenységet.

2. AZ SSYST-2 PROGRAM LEÍRÁSA

Az SSYST-2 egy olyan moduláris kódrendszer, amely alkalmas egy az atomreaktorban levő üzemanyagrud, vagy egy, a kísérleti berendezésekben használt különböző felépítésű fűtőelem szimulátor tranziens viselkedésének leírására, többek között a feltételezett hűtőközegelveztetéses üzemzavar /LOCA/ esetén.

Az SSYST-2 olyan axiális szakaszokból álló egyenes rudként modellezi az üzemanyagrudat, amelynek mindegyik szakasza egy közös tengelyen elhelyezkedő egyenes falu hengerből áll. Ezeket a hengereket más és más anyagokból álló rétegek alkotják és szakaszonként a méretük és az anyagaik is eltérőek lehetnek. Egy ilyen lehetséges, fűtőelem-szimulátor keresztmetszetet mutat az 1. ábra.

Ugyanez a modell kielégítően írja le azt a deformált üzemanyagrudat is, amely minden axiális pontban csak 3 anyagból áll. Ez a leírás akkor használható, ha nem lép fel a rud meghajlása, vagy más aszimmetrikus deformáció. Bizonyos megszorítások mellett az SSYST-2 közelítőleg tudja modellezni az aszimmetrikus deformációkat is, s ezzel néhány fontos eredményt nyújt.

A kód fejlesztésében a változó követelményekhez való igazodás igénye miatt született meg a nyitott moduláris kódrendszer. Egy nagy, önálló kódban ugyanis a kezdetben megadott specifikációkat nagyon nehéz lenne megváltoztatni a későbbiek során.

2.1 Az SSYST-2 felépítése

A rendszer felépítésének alapelvét a 2. ábra mutatja. Egy fűtőelemnek a LOCA során, vagy egy szimulátornak a kísérlet során lezajló tranziens állapotát időlépések sorozatával írjuk le, ezek száma általában 1000. Minden időlépésben a bekövetkező változásokat független események szuperpozíciójaként adjuk meg. Ilyenek pl. a hőtranszport, a hővezetés változása a résben az üzemanyag pasztilla és a burkolat között, a belső nyomás változása, a fűtőelem deformációja, a Zirkaloy burkolat oxidálódása, változó peremfeltételek. A rendszerben megkülönböztethetők a makro időlépések - amelyek a különböző fizikai jelenségeket kapcsolják össze - és a mikro időlépések, melyeket az egyes fizikai modellek belsejében használunk.

Az egyes fizikai modelleken belül tetszőleges integrációs séma használható egy makro-lépésben, a teljes tranziens pedig minden fontosabb fizikai jelenséget magába foglal, melyet a makro időlépések során explicit módon integrálunk.

2.2 A kód szerkezete

Az SSYST-2 két, egymástól jól elkülönített részből áll, a programból és az adatokból. Az adatok tárolása standardizált adatblokkok formájában történik állandó vagy ideiglenes adatbázisokban. A program egy magból /NUCLEUS/ és tetszőleges számú modulból áll, melyek a maghoz szerkeszthetők. A mag FORTRAN IV szubrutinokból és néhány ASSEMBLER rutinból áll, a modulok pedig FORTRAN szubrutinokból. A modulok félig önálló programok, melyek egy adott feladatot látnak el, pl. modelleznek egy fizikai jelenséget az előbb felsoroltak közül. A modulok, eltekintve néhány lazán kapcsolódó programtól, nem olvasnak be input adatokat. Ehelyett a magban szereplő néhány speciális szubrutinon, ún. interface-rutinon keresztül kell az adatbázishoz hozzáférniük. Ugyanigy az eredmények is az adatbázisba kerülnek és onnan hozzáférhetők más modulok számára. A mag kezeli az adatbázist, ezenkívül tartalmazza a vezérlő programot, amely ellenőrzi a program végrehajtását egy alacsony szintű felhasználó-orientált vezérlőnyelv segítségével.

2.3 A vezérlőnyelv

A vezérlőnyelv alapeleme egy rögzített formátumu rekord, az utasítás, amely egy kulcsszóból és 5 egész típusu paraméterből áll. A kulcsszó jelöli ki a végrehajtandó feladatot, a paraméterek pedig a kérdéses modult vezérlik. Ha a modulnak ezen kívül adatokra is szüksége van, akkor ezt a magban levő interface-rutinokon keresztül kapja meg.

Az SSYST-2 kulcsszavai két csoportba oszthatók. Az elsőbe tartozók olyan modulokat aktivizálnak, melyek különböző fizi-

kai jelenségeket modelleznek. A másodikba tartozók pedig, melyeket a 2. ábrán külső modulokként azonosítottunk, olyan általános célú modulokat aktivizálnak, melyek különböző adminisztratív, ill. numerikus feladatokat látnak el. Ilyen feladatok pl. adatblokkok létrehozása, törlése, másolása vagy listázása, algebrai transzformációk végrehajtása rajtuk, vagy transzformálásuk integrálással, vagy standard függvények hívása. Az általános célú modulok másik fontos feladata logikai műveletek végrehajtása, számolás, program ciklusok végrehajtása. Az első csoportba mintegy 30, a másodikba kb. 90 kulcsszó tartozik. A kulcsszavak és az általuk aktivizált funkciók az 1.sz. mellékletben találhatók.

2.4 Az SSYST-2 adatblokkjai

Az adatblokkok standardizáltak, rögzített formátumú leíró vektorból és egy változó adatmezőből állnak. A négy fő típusuk a következő:

- /1/ Valós /egész/ mátrixok /vektorok/. Ez a blokk típus tartalmazza a geometria és az anyagi összetétel specifikációit, a hőmérsékletmezőt és hasonló adatokat. Megállapodás szerint a különböző fizikai jelentésű adatok külön blokkokban kerülnek elhelyezésre.
- /2/ Általános vezérlőblokkok, melyek egész és valós adatokat egyaránt tartalmaznak. A program végrehajtásának általános ellenőrzése és a modulok közti kommunikációra szolgálnak.
- /3/ Anyagi jellemzők és hasonló adatok táblázatai, amelyeken bármely szokásos interpolációs séma kiválasztható.
- /4/ Vezérlőnyelvi rekordok sorozatai. Ezek az ún. SPEICHER blokkok, melyek makro utasításokként aktivizálhatók és az SSYST-2-beli ciklusok végrehajtásának alapelemei a fizikai tranziensek szimulálásakor.

2.5 A program szerkezetéből adódó előnyök

A program ilyen megszervezése a következő fontos előnyökkel jár:

- Minden fizikai modellt egy külön modul képvisel.
- A modulok és a rendszer közti kapcsolatot standardizált, tipizált adatblokkok szolgáltatják.
- Ezek következtében tetszőleges fizikai jelenség különböző finomsággal modellezhető, a modulok egyszerű kicserélése által.
- Minden modul szimulálható általános célú modulokkal, melyek előállítják a kívánt konstans vagy időfüggő adatokat az adatbázisok számára.
- A felhasználó a program inputjával csak azokat a modulokat választja ki, melyeket lényegesnek tart a megoldandó feladathoz. Ezzel elkerülhető az elhanyagolható fizikai jelenségek költséges modellezése.
- A rendszer nyitottsága megkönnyíti, hogy a felhasználó ideiglenesen vagy véglegesen módosítson az egyes modulokon, vagy új modulokat csatoljon hozzá anélkül, hogy a rendszer többi részét megváltoztatná.
- Különálló kódok könnyen hozzákapcsolhatók a rendszerhez akár a kódok laza integrálásával, akár egyszerű interface-rutinok felhasználásával, melyek a különálló kód egy alkalmas output file-jából standardizált adatblokkokat állítanak elő.
- A restart lehetősége azonnal adódik abból, hogy a kód és az adatok külön vannak választva.

2.6 Segédprogramok

Ez a flexibilitás a felhasználó számára néhány kényelmetlenséget is jelent. Az új felhasználóknak több napos tanulásra is szükségük lehet ahhoz, hogy megismerkedjenek az SSYST-2 szabályaival. A tipikus futtatás inputja nagy mennyiségű, néhány száz és ezer kártya között mozog. Egyéb segítség nélkül még a tapasztalt felhasználónak is nehézséget jelent egy-egy új input deck megírása és ellenőrzése. A paramétervizsgálatokhoz az inputot általában azonosan vagy egymással összhangban kell változtatni adott helyeken. Ezekhez nyújt segítséget a VARIO modul, amely kötetlen formátumu és szimbolikus inputot dolgoz fel, amellyel módosítja a már meglevő input deckeket. Input deck minták rendelkezésre állnak több standard alkalmazás esetére. Ezek egy különálló kód virtuális SSYST-2 implementációinak tekinthetők, ezzel a felhasználó szükséges beavatkozását visszavezettük a különálló kódok esetére.

2.7 LOCA analízis az SSYST-2-vel

A 2. és 3. ábrák az SSYST-2 alkalmazását mutatják egy fűtőelemrud analízisére hipotetikus LOCA esetén. A 2. ábra folyamatábrája azt mutatja, hogy a kezdeti stacionér feltételeket adhatja egy kód, pl. a COMETHE III-J amely lazán hozzákapcsolható az SSYST-2-höz /ez a program nem része az SSYST-2 kódrendszernek/. Az inicializálást a továbbiakban az általános célú modulok végzik és az SSYST-2 futás első lépése abból áll, hogy a hőmérsékleteloszlást, nyomást stb. stacionér egyensúlyi állapotra hozzuk.

A LOCA un. blow-down fázisa során a tranziens peremfeltételeket a RELAP4/MOD6 adja. Csekély változtatással a RELAP4 edit csomagja alkalmassá tehető arra, hogy a plot-restart file-ból egy olyan interface-file-t hozzon létre, melyet az SSYST-2 RELBIB interface modulja beolvas. Azonos felépítésű interface file más elsődleges rendszer kódokból is nyerhető.

Hasonló peremfeltételeket ad az újranedvesítéshez a WAK vagy REFLOS lazán kapcsolt SSYST-2 modul is. Ha az egész tranziens során megadjuk a peremfeltételeket, akkor az SSYST-2 moduljai a LOCA mindhárom fázisában /blow-down, refill, flooding/ modellezik az üzemanyagrud tranziens viselkedését. Az általános célu /külső/ modulok felhasználása széleskörű a tranziens folyamán, pl. plotter file írása, végső kiértékelés stb.

2.8 Elsődleges rendszerkódok hozzákapcsolása az SSYST-2-hez

A 3. ábra részletezi a RELAP4 és SSYST-2 kapcsolódását. Az első lépésben egy primerköri rendszeranalízis kerül végrehajtásra a blow-down fázisban az aktiv zóna globális termohidraulikai modelljének felhasználásával. A második lépésben az első lépésből származó p/t/ alsó és felső keverőtéri tranziens nyomásokat és h/t/ belépő entalpiát vesszük peremfeltételként a RELAP4-gyel végrehajtandó egy-csatorna analízisben, amely egy kiválasztott hűtőcsatornát modellez részletesebben. LOCA analízis esetén ez vagy a legjobban terhelt csatornák egyike, vagy más érzékeny területen helyezkedik el a zónában.

A 2. lépésből származó RELAP4 plot-restart file-t egy RELAP4 edit futással átalakítjuk úgy, hogy interface file-t kapjunk az SSYST-2 számára, amely a rud több axiális pontjában tartalmazza a tranziens peremfeltételeket.

A 3. ábrán szereplő 22-es szám tetszőleges, de egy jellemző érték. Peremfeltételként általában a hűtőközeg T_c/t hőmérsékletére, a burkolat-hűtőközeg HTC/t hőátadási tényezőre - ezekre a hőátadási moduloknak van szüksége -, és a hűtőközegben levő p/t/ nyomásra van szükség, amely hozzájárul a burkolat deformációjához. Ezekon kívül a tranziens maradványhőből adódó normalizált teljesítmény is átkerül a RELAP4-ből az SSYST-2-be.

2.9 Fizikai modellek az SSYST-2-ben

Ebben a részben röviden leírjuk a fő fizikai modelleket /modulokat/ [3].

2.9.1 Hővezetés

Jól ismertek a hővezetési egyenlet megoldási módszerei. A LOCA analízis szempontjából fontos az érintett anyagi jellemzők hőmérséklet-függése. Az SSYST-2 könyvtár egyes anyagokra tartalmaz táblázatokat, melyeket a felhasználó egyszerűen kicserélhet sajátjaira.

A ZET1D modul radiális rácson megoldja a tranziens hővezetési egyenletet. A legtöbb rudgeometriában jogosan elhanyagolható az axiális hővezetés /1D az egy dimenzióra utal/. Az idő szerinti integráló rutinban egy szemi-implicit Crank-Nicholson séma szerepel.

A ZET2D modul a hővezetési egyenletet egy 2 dimenziós /r,z/ rácstra oldja meg. Erre a modulra akkor van szükség, ha a hőátadás lényeges a gáz és az üzemanyagpasztilla érintkezési zónájában, valamint a kísérleti elrendezések modellezésénél. Ebben a modulban az idő szerinti integráció az ADI - Alternating Direction Implicit - módszerrel történik.

Az STT-2D modul a ZET2D 2 dimenziós hővezetési modul állandó kiegészítője. Megoldási módszer a SLOR - Successive Line Over Relaxation -.

2.9.2 Rés hővezetése

Elzáródás nélküli /nyitott/, gázzal töltött rés esetén, pl. az üzemanyag pasztilla és a Zirkaloy burkolat közt, a sugárzási hőátadás fontos lehet. Ezt az SSYST-2 csak a legkülső résben veszi figyelembe. Ez a megszorítás szükség esetén megszüntethető, bár kisebb nehézséget okoz a kód újra-szervezésében. Két modul áll rendelkezésre.

WUEZ: elzáródás nélküli rés esetén a He, Kr és Xe gázokban történő hővezetés és a hősugárzás együtt adja a rés hővezetését. A 3. lehetséges összetevőt, a gáz hősugárzását elhanyagoljuk. Ezáródó rés esetén a Ross-Stoute modellt alkalmazzuk;

URGAP: ez a modul az URANUS kódban kifejlesztett rés hővezetési modell SSYST-2-beli változata.

Nyitott rés fizikai modellezése lényegében ugyanugy történik, mint a WUEZ modulban, a zárt esetén viszont attól eltérően. Nagy gondot fordítottak arra, hogy a numerikus módszer felírásakor elkerüljék a nem-fizikai jellegű diszkontinuitásokat a nagyon keskeny és a teljesen zárt résre számított vezetés között. Így azokat a mesterséges oszcilláló tranzienseket, melyek csupán a numerikus hatások eredményei lennének, teljesen elkerülik.

2.9.3 Belső gáznyomás

Azon erőhatások létrehozója, amelyek a LOCA során a burkolat deformációjához vezetnek egyrészt az a nyomás, amely a résben van az üzemanyag pasztilla és burkolat közt, másrészt az ellennyomás a hűtőközeg csatornában. Míg a hűtőközeg csatornában levő nyomás egyike a RELAP4-hez hasonló elsődleges rendszerkódok által átadott tranziens peremfeltételeknek, addig a belső gáznyomást az SSYST-2 számítja ki. Két modul áll rendelkezésre erre a célra.

SPAGAD: ez a modell feltételezi, hogy bármely pillanatban a gáz nyomása a rud felső és alsó gázterében, a résben, és a nyitott üzemanyag pórusokban egyensúlyban van. A teljes hasadási gázkibocsátást egy egyszerű korreláció adja meg, amely az üzemanyagnak 3 hőmérséklet-tartományát veszi figyelembe. A teljes gáznyomást elsősorban a He töltőgáz és a Kr és Xe mint hasadási termékek okozzák. Más lebomló hasadási termékek is bevonhatók a számításba, de a legtöbb gyakorlati esetben ezek hatása elhanyagolható.

PIPRE: ez a modell elsősorban a He, Kr és Xe gázokat tekinti a rud belső nyomása létrehozóinak. A modell 3 effektív rud térfogatot vesz figyelembe, nevezetesen a felső és alsó gázteret, amelyet a pasztilla és a burkolat közti rés köt össze, a pasztillán belüli nyílás térfogatát és a nyitott pórusokat. A pasztilla-burkolat-rés változtatja alakját és méretét a LOCA tranziens során. A gáznyomást lokális változóként kezeli és modellezi az áramlást a felső és alsó gáztér közt, valamint a rést.

2.9.4 Rud deformáció

A rud axiális irányú deformációjára, amely hengerszimmetrikus, a STADEF modul áll rendelkezésre. Az azimutális aszimmetria hatása egy axiális zóna esetén az AZI modullal vizsgálható.

STADEF: a rud szimmetrikus deformációját modellezi, elsősorban a Zirkaloy burkolatét. A fűtőanyag pasztilla esetén csak a hőtágulást és rugalmas összenyomást vesszük tekintetbe. A burkolat deformációja a pasztillával történő érintkezés során érintési nyomással történik. Nyitott rés esetén, /LOCA analízis esetén általában ez a helyzet/ a burkolat radiális deformációját 1 dimenziós héjelmélettel számítjuk. Ez a felhasználó igénye szerint kibővíthető úgy, hogy magába foglalja az elzáródásból adódó korrekciókat is. A felhasználónak meg kell adnia kiegészi feltételként egy olyan megszorítást, amely gyakorlati célokra elegendő.

2.9.5 Zirkaloy oxidáció

A ZIRKOX modul számítja a Zirkaloy oxidációt, ennek hatását a hőegyensúlyra és korrekciót a burkolat-hűtőközeg hőátadási együtthatóra. A modell csak a külső burkolatfelületen vesz figyelembe oxidációt. Feltevés szerint

a burkolat 2 rétegből áll, a külső köti meg az oxigént ZrO_2 formájában, a belső pedig az eredeti Zirkaloy-fém. Az oxidáció olyan egyszerű parabolikus törvény szerint megy végbe, melynek paramétereit a felhasználó a Baker-Just korrelációból vagy bármely más forrásból nyerheti.

2.9.6 Feltöltés és ujrancedvesítés /refill, flooding/

A WAK modult azért kapcsolták az SSYST-2 rendszerhez, hogy a feltöltési ujrancedvesítési fázisok alatt peremfeltételeket nyerjenek a rud modellekhez. Ezek ugyanazok a peremfeltételek, amelyek a RELAP4-ből származnak a blow-down fázisra, beleértve a tranziens maradványhőt is.

2.9.7 Hidraulika a szubcsatornában

A blow-down során az üzemanyagrudak tranziensének vizsgálata azokon a burkolat-hűtőközeg hőátadási együtthatókon és tranziens hűtőközeg hőmérsékleten alapszik, amelyet valamelyik elsődleges rendszerkód, pl. a RELAP4, számol. De a blow-down során a hőátadási együtthatókat befolyásolhatja a hőfluxus változása, amikor a burkolat elválik a pasztillától. Ezt a hatás az elsődleges rendszerkód nem modellezi. Ez tette szükségessé egy újabb modul kifejlesztését [4].

ZETHYD: Ez a modul egyesíti a ZET1D modulnak a rudba és abból történő tranziens hővezetés számítására létrehozott modelljét a hűtőközeg csatorna belsejében kialakuló entalpia eloszlásának egyszerűsített számításával. Az entalpia axiális eloszlásából hőmérsékletet és hőátadási együtthatót származtat. A csatorna ki és belépő entalpiáját, nyomását és tömeg-áramát a RELAP4-ből kapja mint tranziens peremfeltételt. A tranziens entalpia-eloszlás számításánál alkalmazott egyszerűsítő feltételezések a következők:

- a nyomásgradiens vagy a surlódás nem okoz gyorsulást a folyadékban,
- minden axiális szinten konstans a tömegáram.

Több integrálási lehetőség is áll a felhasználó rendelkezésére. A rud és a csatorna hőátadásának integrálását - független modulok csatolása helyett - a numerikus instabilitások elkerülése tette szükségesé. Ez jelzi az SSYST-2 alapvető moduláris koncepciójának bizonyos korlátait.

2.9.8 Azimutális hatások

Az 1977 óta szerzett gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a burkolat felületének kezdeti azimutális aszimmetriája, - melynek oka a pasztilla nem centrális elhelyezkedése, a kezdeti aszimmetrikus hűtés, vagy a kezdeti burkolatvastagság változásai - döntően befolyásolják a deformáció teljes tranziensét. Az öngerjesztő mechanizmus miatt a burkolat eredetileg melegebb részén gyorsabban jönnek létre feszültségek, a burkolatnak ez a része közelebb marad a pasztillához, magasabb hőfluxust kell átbocsátania, mint a burkolat hidegebb részének és így nagyobb mértékben emelkedik a hőmérsékletre. Ennek a folyamatnak megközelítő modellezését látja ez az AZI modul.

AZI: ez a modell bizonyos fokig eltér az SSYST-2 szigorúan moduláris elvétől, mivel egy modulban kerül kiszámításra a hővezetés, a rés hővezetése, a burkolat deformációja és a Zirkaloy oxidáció. Arra is szükség van, hogy modellezze a sugárzási hőátadást a szomszédos rudakkal. Ezzel tulmegy az egy-rud analízisen, amely általában az SSYST-2 feladata. Jelen állapotában a modul csak egy kiválasztott axiális zónát tud modellezni, amelyben várhatóan a legnagyobb lesz a deformáció. A deformált térbeli rácson végzett számítás meggyorsításához szükség volt néhány hatékony közelítésre, különösen a különböző fizikai jelenségek összekapcsolásakor.

2.9.9 Egyéb modulok

Az előbbieken felsorolt modulok áttekintést nyújtanak a rendszerről. További modulok még a RIBDTH, amely a kezdeti hasadási termék leltárt számítja, valamint a RANDM és RAWAK modulok, melyek a RELAP4-ből, ill. WAK-ból származó tranziens peremfeltételeket dolgozzák fel. Ezek a rendszerhez lazán kapcsolt modulok.

2.10. Alkalmazások

Az SSYST-2-t alkalmazták olyan szimulátorkísérletek számítására, melyeket a KfK-ban levő COSIMA és REBEKA kísérleti berendezéseken hajtottak végre. Ezenkívül segítségével analizálták a KfK-beli FR2 reaktor gőz körében folytatott in-pile kísérleteket. Ezekben a kísérletekben nukleáris fűtést és gőz hűtést alkalmaznak a LOCA refill-flooding fázisának szimulálására, amelyben várhatóan fellép rud deformáció.

Végül kiterjedt paraméter vizsgálatot folytattak az üzemanyagrud várható viselkedésének leírására LOCA körülmények között. Ezek a számítások rámutattak, hogy a hipotetikus LOCA során kialakuló burkolat deformáció nagyon érzékeny a Zirkaloy szilárdsági modelljére és a helyi hőmérsékletre. Ez a nagyfokú hőmérséklet-érzékenység, amelyet sok kísérlet bizonyít, a helyi teljesítménytől és az azimutális hőmérsékletgradienstől rendkívül erősen függ, mégpedig a pasztilla nem centrális elhelyezkedése vagy a rud geometriájának más tökéletlenségei, illetve a termohidraulikai peremfeltételek kisebb változásai következményeként.

3. INPUT SZERVEZÉS AZ SSYST-2-BEN

Az SSYST-2 rendszer felépítését a 4. ábra mutatja. A rendszer alkotórészei lényegében a mag /NUCLEUS/, a modulkönyvtár és az adatbázis. A modulkönyvtár tartalmazza többek között azokat a fizikai modulokat, melyek megoldják pl. a hő-

vezetési egyenletet egy üzemanyag rudban. Az adatbázis tartalmazza a feladatok megoldásához szükséges adatokat, mint pl. a peremfeltételek, a geometria, anyagi jellemzők. Ebből a szerkezetből látszik a program és az adatok elkülönítése, amely a rendszer egyik lényeges alapgondolata. Ez biztosítja a rendszer flexibilitását.

Ahhoz, hogy egy feladat megoldásakor a program és az adatok szükséges kapcsolatát megteremthessük, két további elemre van szükség. Az egyik az adott feladat megoldásához szükséges adatok egységes elnevezése /ez a blokkszám/, a másik pedig egy programcsomag, amely átveszi az adatbázis kezelését, azaz az adatbázisból adatokat ad át a modulnak és a modulból ismét az adatbázisba viszi őket.

3.1 Az input parancsok feldolgozása

Az SSYST-2 inputja vezérlőnyelvi parancsok sorozatából áll. Az ilyen parancsok közt a megfelelő modultól függően további adatokat kell megadni, amelyeket ez a modul használ fel. /Részleteit lásd a [2] függelékében./ Amikor egy parancsot a mag beolvas, akkor először ellenőrzi, hogy ez szerepel-e a vezérlőnyelv parancsai között. Ezután egy táblázatból előkeresi a kívánt modul kezdő címét és a vezérlést átadja a modulra. Az így aktivizált modul most már adatokat olvashat be és vihet ki az adatbázisba /tehát a modulok közti közvetlen adatátvitel nem lehetséges/. Ezen kívül az input file-on keresztül beolvashat adatokat és a sornyomtató file-ba kiírat-hat a szokásos módon. Ha az adat transfer végrehajtása befejeződik, akkor a vezérlés visszakerül a magba és a következő parancs kerül végrehajtásra.

A szokásos adattípusok mellett, amilyenek az egész és valós számok, az SSYST-2-ben szövegszerű adatok is lehetnek. Az ilyen adattípus arra használható, hogy SSYST-2 input sorokat raktározzunk el /SPEICHER kulcsszó/. Egy speciális kulcsszó segítségével /START/ azután ezek a szövegszerű adatok az adatbázisból az input-file-ba vihetők, s végül mint normál input-adatok kerülnek feldolgozásra.

Mivel egy START-utasítás végrehajtása még egy olyan logikai változó értékétől is függ, amelyet minden modul megváltoztathat, ezért a programfutás nagyon sokféleképpen történhet, s ez csak job végrehajtása során dől el.

3.2 Az SSYST-2 könyvtárai

Az SSYST-2 adatbázisa három részre van felosztva, nevezetesen a BASis, a BIBliothek és az Unter-BIBliothek könyvtárakra. Ezekből kiindulva a nagy és ritkán használt adatmezők könnyen kiírhatók az adatbázisból mágnesszalagra /BIB-TAPE/ és onnan ismét beolvashatók /MISCH-BIB/. Az adatbázisban levő adatok közvetlen elérésű adathordozón vannak /azaz diszken/, amelynek paramétereit, ill. állapotát az SSYST-2 input első kártyája írja le.

Az adatbázis-kezelő program minden részkönyvtáráról nyilvántartja, hogy milyen adatok kerültek bele és hol helyezkednek el. A tárolóhely kihasználását egy egyszerű kritérium optimalizálja, így olyan számsorozatok, amelyek értéke nulla, nem kerülnek explicit módon tárolásra. Egy adathalmaznak a könyvtárba írásakor megvizsgálja, hogy ugyanilyen elnevezéssel van-e már adathalmaz, s ha van, akkor kicserélhető-e.

A job normál befejezésekor a három részkönyvtár tartalomjegyzéke kiíródik a diszkre, úgy hogy egy következő job-ban a tartalomjegyzékek beolvasása után ismét rendelkezésre állnak az adatok. Ha azonban a job végrehajtása valamilyen külső ok miatt megszakad, akkor a tartalomjegyzék utolsó állapota nem kerül kiírásra, tehát a diszk fizikai állapota és a tartalomjegyzék már nem felel meg egymásnak.

Ennek elkerülésére a job futása alatt az EXT-SET parancssal a tartalomjegyzék az aktuális állapotnak megfelelően kiírható a diszkre.

Az adatbázis három részre osztása az alábbiaknak megfelelően történik.

BASis: ezek az adatok minden felhasználó számára hozzáférhetőek. Tartalmazza a minden felhasználó számára fontos adatblokkokat, pl. a vezérlőnyelv parancsait, anyagi jellemzőket vagy felhasználói információkat.

BASis az FT13F001 DD névhez kapcsolódik /diszk/ és minden SSYST-2 job-ban meg kell adni.

BIBliothek: ez az egyes felhasználók adatait tartalmazza, pl. restart file-ok. Ezekre az adatokra az FT14F001 DD névvel lehet hivatkozni /diszk/, de megadható DUMMY-ként is.

Unter-BIBliothek: ezen azokat az adatokat lehet tárolni, melyek két modulhívás ill. parancs végrehajtás között kerülnek beolvasásra. Ezek az adatok az előzőkhöz hasonlóan diszken is tárolhatók /FT15F001/, vagy a költ-ségesség csökkentésére a főtárban /a MAIN rutin COMMON /RSYECS/ mezőjében/. Az utóbbi esetben FT15F001 megadható DUMMY-ként.

Az SSYST-2 program futtatásához először a forrás és a load modulokat el kell tárolni diszken. Ezután elő kell állítani a BASis könyvtárat. Ehhez az SSYST-2 magját kell lefuttatni a NEUBASIS elnevezésű input adatset-tel. Ezzel a rendszer implementációja befejeződik, futtathatók a kívánt feladatok. A futtatásra 3-féle lehetőség van. Vagy csak egy egyszerű "GO" step végrehajtása, vagy egy "LINK" és "GO" vagy egy "COMPILE"- "LINK"-és-"GO" step végrehajtása. Az első esetben csak a "GO" stephez kell megadni a JCL kártyákat. Itt az előbbi FT13F001, FT14F001 és FT15F001 DD neveken kívül még az alábbiak megadására van szükség:

FT02F001: általában megadható DUMMY-ként, arra szolgál, hogy az outputot a legszükségesebbekre korlátozzuk. Az FT08F001 és FT12F001 belső munkafájl-ok. További esetlegesen szükséges fájl lehet még az FT31F001, melyre a ZWERG modulon keresztül kerülnek adatok, az FT32F001, melyen keresztül a REL-BIB modul olvassa be a RELAP peremfeltételeket, valamint az FT16F001-től FT99F001-ig levő DD nevű fájl-ok, ha a BIB-

- Az UBI blokkjainak száma: = 0 /D/
- Az UBI blokkjainak hossza: = 0 /D/
- A "Blank Common"-ban fenntartott terület a SPEICHER blokkok tárolására = 2000 /D/

Minden SSYST-2 utasítás egy parancs, beolvasásával kezdődik. A parancsokat tartalmazó kártyák formátuma /3X, 8A, 1X, 5I12/. 8A formátumban a kulcsszó kerül beolvasásra. Ennek hatására behívódik a megfelelő modul és átadódik a vezérlés. A kulcsszó után következő K1, K2, K3, K4, K5 változók egész értékek, vezérlő funkciójuk van, értékük átadódik a behívott modulnak.

K1 az input könyvtárra vonatkozik, amelyből a hívott modul a szükséges adatblokkokat olvassa be.

Jelentése: K1 = 0: input a BIB-ből, ill. BASisből
K1 = 1: input az UBI-ből
K1 = 2: input az UBI-ből, és ha ott nincs, akkor a BIB-ből, ill. BASisből

K2 az output könyvtárra vonatkozik, amelybe a hívott modul a kiszámított eredményeket helyezi.

Jelentése: K2 = 0: output az BIB-be, ill. BASisbe
K2 = 1: output az UBI-be
K2 = 2: output az UBI-be és a BIB-be, ill. BASis-be egyaránt

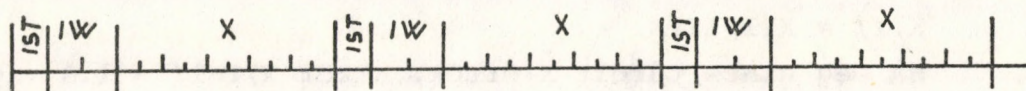
Annak eldöntése, hogy egy adatblokk a BIB-ből vagy BASisből kerül beolvasásra, illetve oda kiírásra az adatblokkok blokkszámának segítségével történik. Az olyan blokkoknak, amelyek blokkszáma < 100 000 a BASis felel meg, azoknak pedig, melyeké 100 001 és 9999999 közé esik a BIB. UBI-n megengedett az összes blokkszám 1-9999999-ig.

A K3, K4, K5 mennyiségek értéke a hívott modultól függ és az adott modul inputjának leírásánál található az esetlegesen szükséges további inputkártyák beírásával együtt.

3.3.2 Inputadatok a REAI, REAG és REAH formátumban

Az adatblokkok inicializálásához meg kell adni az adatokat. Ez különösen nagy adatmezők esetében nagyon fáradságos lehet. Ezért hozták létre az SSYST-2-ben a REAI és REAG segédprogramokat, melyek segítségével lényeges megtakarítás érhető el. Ez az adatmegadási lehetőség ott biztosított, ahol ezt az inputleírás megjelöli.

A beolvasás mindig egy új kártyával kezdődik és annyi kártyán keresztül tart, amennyi szükséges az adatmezők feltöltéséhez. Minden kártya 6 mezőre van osztva, amelyek mindegyike 12 oszlopból áll. Ezek mindegyike újabb 3 részt tartalmaz, amelyeknek 1, 2 és 9 oszlop felel meg. A beolvasás formátuma ennek megfelelően /A1, I2, I9/. Az elrendezés a következő:



Az első almező az IST vezérlőkaraktert tartalmazza, a 2. /amely 2 oszlopból áll/ az IW ismétlési tényezőt, a 3. pedig az X inputértéket. Ez REAG esetében valós, REAI esetében egész, REAH esetében pedig karakterlánc /A4, 5X/. Az input adat az IST értékétől függően kerül tárolásra az adatmezőben. A tárolás a vektorok első pozíciójánál kezdődik, s addig tart, amíg minden pozíció feltöltődik.

Az IST vezérlőkarakter a következő értékeket veheti fel:

IST =

üres: X egyszer kerül tárolásra, IW-nek nincs jelentősége.

R: X IW-szer kerül tárolásra.

I: X és a következő mező X értéke közt IW ekvidisztáns interpolációt hajt végre. REAH esetén nem megengedett.

- T: Az adatmező vége. Egy adatmező inputját zárja. Az ezt követő kártyamezőket beolvassa, s ha nem felelnek meg a formátumnak, akkor hibajelzést ad, aminek viszont nincs jelentősége. A REAG, REAH vagy REAI-n keresztül történő adatbeolvasás után a modulok inputleírásának megfelelően a felépítendő adatmezők hosszát kell megadni. Ez a modul azután ellenőrzi, hogy T eléréséig az adatok száma eléri-e a kívánt értéket. Egyenlőtlenség esetén hibamegbeszakitás történik.
- F: Az adatmező hátralevő részét X-szel kell kitölteni. A következő vezérlőkarakternek T-nek kell lennie.
- A: X értéke IW-szer hozzáadódik a megelőző X értékhez:
$$X/I/ = X/I-1/+X$$

Ha még nincs tárolt érték, akkor $X/I-1/ = 0$. vagy 0 lesz.
- M: X értékét IW-szer szorozza a megelőző X értékkel.
$$X/I/ = X/I-1/*X$$

Ha még nincs tárolt X érték, akkor $X/I-1/ = 1.0$ vagy 1 lesz.
- E: A következő IW értékeket a következő kártyától kezdve nagyobb pontossággal olvassa be. REAI esetén /6I12/ formátumban, REAG esetén /6E12.4/ formátumban és REAH esetén 18A4 formátumban. Az utolsó szükséges kártya ezután következő mezőinek nincs jelentése /lásd T/.
- S: A kártya többi mezőit és almezőit átugorja.
- Q: Az X utolsó érték IW-szer megismétlődik. REAG esetében X egészként értelmezett. REAH-ra Q nem megengedett.
- B: Az X blokkszámu blokkot BIB-ből, ill. UBI-ből beolvassa. IW-nek nincs jelentése.
- Ha a T utáni IW értéke 1, akkor a kapott adatmezőt kinyomtatja, IW = 0-ra viszont nem.

Az 1.melléklet tartalmazza a parancsokat és jelentésüket. A [2] C függelékben található az egyes parancsokhoz szükséges input adatok leírása, a B függelékben pedig az üzemanyagrud viselkedéséhez szorosan kapcsolódó adatblokkok összeállítása.

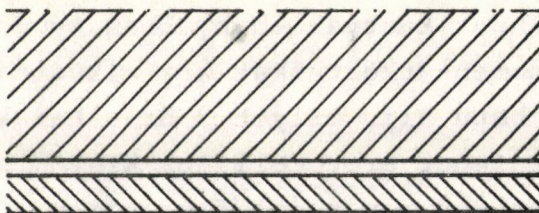
Az ismétlődő utasításokat SREICHER blokkban lehet tárolni. A SPEICHER utasítás hatására a megadott utasítássorozat elhelyezésre kerül a kívánt blokkszámmal. A továbbiakban ez az utasítássorozat a START utasítás segítségével végrehajtható.

Bizonyos adatblokkokra több modulnak is egyformán szüksége van, ezért kellett definiálni az ún. általános vezérlőblokkot /ASTB/. Minden az összes SSYST modul számára együttesen megállapított helyekre tartalmazza azoknak az adatblokkoknak a blokkszámát, melyeknek egy meghatározott jelentése van. Ez az általános vezérlőblokk egész és valós értékek mellett szövegszerű adatokat is tartalmaz. Az egyes adatok jelentésének meggyarázata a [2] B.1 függelékben található.

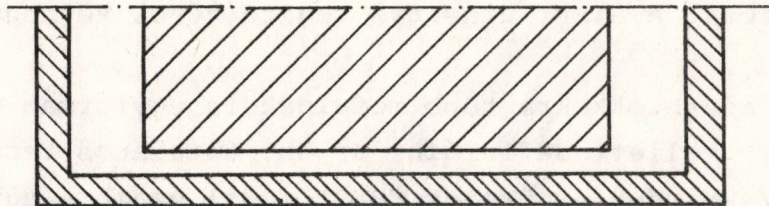
4. PÉLDA ÜZEMANYAGRUD ANALÍZISÉRE

A következőkben az SSYST-2 kódrendszerhez megadott harmadik teszt-feladat input-kártyáit ismertetjük példaképpen.

Az alábbi rajz az SSYST-2 modulok értelmezésének megfelelően ábrázolja egy üzemanyagrud szerkezetét.



Az adatmezők sorai megfelelnek az üzemanyagrud axiális irányának, az oszlopai pedig a radiálisnak. Az ilyen modellel a rud belső nyomása nem számítható, főleg amiatt, hogy a rudbeli rés gáztöltete nem modellezhető. Ezért azokban a modulokban, melyek a belső nyomást számítják, a következő modell szerepel



A következőkben vizsgáljuk meg, hogy hogyan számítható az SSYST-2-vel a stacionér hőmérsékletmező egy üzemanyagrudban.

Ennek a feladatnak a megoldásához a ZET-1D modulra van szükség.

A ZET-1D modul összehasonlítja az általános vezérlőblokkok egészmezőjéből származó integrációs lépésszámot a modulnak a K4 paraméterén keresztül megadott maximális lépésszámmal és túllépés esetén a ZAEHL utasítás segítségével beállítják a ciklusszámlálót.

Az input első kártyája a könyvtárakat definiálja

```
TEST  0 100 640 2 0 0 2 0 0 2000
```

Ahhoz, hogy az input kártyák könnyebben nyomonkövethetők legyenek, célszerű kommentárkártyákat közbeiktatni. Ezekben az 1. pozíción egy C betű áll, melyet 3 üres karakter követ. Ezeket a kártyákat az input protokolljába kinyomtatja, de a további feldolgozásban már nem veszi figyelembe. Az input kártyák a 72-től 80 pozíciókon sorszámozhatók. A ZET-1D-nek első adatblokként az általános vezérlőblokkot kell megadni /ASTB/.

A következő példa egy általános vezérlőblokk generálását mutatja:

```

C
C ... AZ ALTALANOS VEZERLOEBLOKK:
C
  GENSTEU          1          1          5500600
ALTALANOS VEZERLOEBLOKK AZ SSYSTBEN
  43      12      1
           0        0          10          9          4          5
  5500700A34      100        4300      5504300T
           .0        .0          .0        70.+5        0.05      0.005
R46      .OT
SSYST VEZERLOEBLOKK
  
```

/Az itt szereplő blokkszámok a felhasználó által szabadon választhatók, csak példaként ennyi az értékük./

Az üzemanyagrud modelljében 10 radiális és 9 axiális osztáspontot veszünk fel, modellezzük az alsó és felső gázteret. A számítás a nulla időpontban kezdődik. Az egyszerűség kedvéért minden blokkszámot megadunk annak ellenére, hogy elég lenne az is, ha nullától különböző számokat adnánk meg azokon a helyeken, melyekhez a ZET-1D modulnak hozzáférése van.

Az általános vezérlőblokk után következő blokként az osztáspontok anyagi jellemzőinek mátrixára van szükség /hozzárendelési mátrix/.

Ahogy azt az általános vezérlőblokkban már megadtuk egy felső és egy alsó gázpléniumot modellezzünk, ahol ezek jelzőszámait az ASTB létrehozásakor adjuk meg (IASTB/5/, IASTB/6/).

Az adatmező felépítését az 5. ábra mutatja.

Az anyagi jelzőszámok felosztásakor a következőkre kell figyelni:

- a/ A megadott anyagi jelzőszámok összege +1, megfelel a ZET-1D vezérlőblokkjának egész részében annak a helynek a számának, ahol ennek az anyagnak a λ , C_p , ρ hővezetési adatainak blokkszámát tároljuk.
- b/ Ezért egy szám se hagyható ki /összegszerűen/.

- c/ Negatív anyagi jelzőszámmal a rést jelöljük a fűtő-
anyagpasztilla és a burkolat között.
- d/ Csak egy rést szabad megadni.
- e/ Az alsó és felső rés-gázplenum jelzőszámainak külön-
bözőknek kell lenniük és az általános vezérlőblokk-
ban hasonlóképpen kell megadni őket.
- f/ Ugyanazokra az anyagi jellemzőkre használhatók külön-
böző jelzőszámok.

Az anyagi jelzőszámok blokkját a következő inputkártyákkal
tudjuk megadni:

```
C
C      AZ ANYAGI JELZŐSZÁMOK MATRIXA
C
      MATRIX                1          1
      1      2      10      9
      5500700T
      HOZZÁRENDELESI MATRIX
R10      3R 9      4      3S
R8      1      -2      3Q 4      10S
R9      5      3R10      3T
```

Az itteni blokkszámok választása megfelel az ASTB-beli blokk-
számoknak.

A következőkben az aktuális rácspont középhőmérsékletek és
felületi hőmérsékletek mátrixait kell megadni:

C
C KEZDETI HOEMERSEKLETMEZOE. IZOTERMIKUS.
C KOEZEPERTEKEK A RACSPONTOKBAN

MATRIX 1 1
1 0 10 9
5501200T

UJ HOEMERSEKLETEK GRD K-BAN

F 300.T

C
C A KEZDETI FELSZINI HOEMERSEKLETMEZOE
C

MATRIX 1 1
1 0 9 3
5501300T

FELSZINI HOEMERSEKLETEK GRD K-BAN

F 300.T

A hőmérsékletmezők után a geometriát kell megadni, ahol figyelembe kell venni, hogy a radiális mezőben eggyel több sornak, az axiális mezőben pedig eggyel több oszlopnak kell lennie, mint a megfelelő rácspontok száma. Mivel az anyagi jelzőszámok mátrixa szerint 8 rácspont helyezkedik el az üzemanyagban, ezért a 9. sugárértéknek a pasztilla átmérő felel meg, a 10-nek a burkolat belső és a 11-nek a burkolat külső átmérője. A jobb numerikus modellezés érdekében az üzemanyagban nem-lineáris radiális felosztást adunk meg.

C
C AZ AXIALIS VEKTOR HIDEG ALLAPOTBAN
C

VEKTOR 1 1 0 5501600 10
UJ AXIALIS RACSPONTOK M-BEN
.0 1.E-3A 1 5.E-3A 5 0.15012A 1 0.0558A 1 1.E-3

T

C

C RADIALIS OSZTASOK

C

MATRIX 1 1

1 0 11 9

5501500T

UJ SUGARAK M-BEN

.0S

.6E-3 1.2046E-3 2.2238E-3 3.0576E-3 3.7061E-3 4.1693E-3

4.4473E-3 4.5400E-3 4.6550E-3 5.7250E-3Q8 11T

A következő blokk tartalmazza a feladat idővektorát. Az itt megadott időlépések nagyságától függ az explicit integrálási eljárás stabilitása. Ez különösen a réshőmérsékletek alakulásában látható könnyen.

C

C AZ IDOEVEKTOR KOEVETKEZIK A HOVEZETESI MODULOKHOZ

C

VEKTOR 1 1 0 5501700 401

IDOEVEKTOR A STACIONER SZAMITASHOZ

.0A50 .05A50 .1A50 .15A50 .2A50 .25

A50 .3A50 .35A50 .6T

Az ASTB egész részének 18. és 19. helyén levő blokkszámok a fűtőanyagrud bal, ill. jobb oldali peremfeltételeinek felelnek meg. Bal jelenti a rud tengelyét. Ezeknek a peremfeltételeknek az inputjára a következő megegyezések vonatkoznak:

a/ hőátadás

1-es oszlop: átadási hővezetési tényező $\alpha[\frac{W}{m^2K}]$

2-es oszlop: 1

3-as oszlop: hővezetési tényező * környezeti hőmérséklet

b/ felületi hőáram

1-es oszlop: 0

2-es oszlop: -1

3-as oszlop: felületi hőáramsűrűség $q[\frac{W}{m^2}]$

c/ felületi hőmérséklet

1-es oszlop: 1

2-es oszlop: 0

3-as oszlop: felületi hőmérséklet [K]

A feladatban a baloldali felületen szimmetrikus peremfeltételeknek kell lenniük, azaz $q_w=0$. Ezután b-ből az adódik, hogy

C

C A BALOLDALI PEREMFELTETÉLEK MATRIXA

C

MATRIX 1 1

1 0 9 3

5501800T

BALOLDALI PEREMFELTETEL

R9 .OR 9 -1.R9 .OT

A jobboldali peremfeltételekhez meg kell adni egy a-nak megfelelő hőátadást. Legyen a hőátadási tényező axiálisan konstans, és az alcsatorna hőmérséklete enyhén emelkedő.

C

C A JOBBOLDALI PEREMFELTETÉLEK MATRIXA

C

MATRIX 1 1

1 0 9 3

5501900T

JOBBOLDALI PEREMFELTETÉLEK

R9 2.46+4R 9 1.R 4 1.36+7R 5 1.37+7T

A következő előállítandó adatblokk tartalmazza a hőforrás-sűrűséget W/m^3 -ben minden rácspontban. Ebben a példában nem szerepel radiális vezetésprofil az üzemanyagban, továbbá a hőkibocsátás kizárólag az üzemanyagban történik. A hőforrás-

sűrűségek blokkjának beolvasásakor az adatmező soronként töltődik fel, szemben az összes többi MATRIX hívásokkal, ahol ez oszloponként történik. Ezt a MATRIX utasításban levő IST vezérlő változóval érjük el.

```
C
C      A HOEFORRASSUERUESEG ELOSZLASANAK MATRIXA
C
MATRIX          1      1
      1      1      10      9
      5502200T
      A HOEFORRASSUERUESEG ELOSZLASA W/M**3
R2  .0      5.99+7      6.98+7      6.86+7      6.11+7      4.94+7
R2  .Q7      9R18      .OT
```

Utolsó előtti blokként a ZET-1D vezérlőblokkját kell előállítani a modul inputleírásának megfelelően. Ez a következő lesz:

```
C
C      A HOEVEZETESI MODULOK VEZERLOEBLOKKJA
C
GENSTEU          1      1      5502300
      VEZERLOEBLOKK A ZET-1D-HEZ
15  5      0
      5      2301      2302      2303R 2      2302      10
      5      5      9      4      0      0
      0      OT      O.T
      .01      .25F
```

```
C
C      ANYAGI JELLEMZOEK A BASIS-BOEL:
C
MISCH-UBI          3
      2301      2302      2303T
```


A rés hőátadása ebben az egyszerű példában legyen konstans:

```
C
C      A HOETADASI EGYUETHATOK VEKTORA A RESBEN:
C
VEKTOR      1      1      0      5503600      9
HOEATADAS A RESBEN
6000.T
```

Azokat a blokkokat, melyek az anyagi jellemzőket tartalmazzák, vagy a BASIS-ből lehet az UBI-ba vinni a MISCH-UBI utasítással, vagy saját adatokkal lehet feltölteni. Az anyagi jellemzők blokkjai a WERBL, ill. GENT modulok segítségével is előállíthatók, de vigyázni kell arra, hogy a hővezetési modulok a λ , C_p és ρ hőmérsékletfüggő adatokat ebben a sorrendben egy blokkszámon várják. Mivel a GENT modul egyszerre mindig csak egy anyagi jellemzőt dolgoz fel, ezért a blokkot a GENT használata esetén a KOMBZ segédmodullal tudjuk a kívánt módon felépíteni.

Ezzel minden szükséges adatot előkészítettünk blokkok formájában ahhoz, hogy a hővezetési egyenletet a megadott módon integrálhassuk. Maga az integrálás a ZET-1D modul ismételt hívásával történik. Ilyen ismételt hívásokat tesz lehetővé a következő START-SPEICHER utasítássor:

```
C
C      INTEGRALO SPEICHER UTASITASSOR
C
SPEICHER      1      1      0      9591111      1
INTEGRALO SPEICHER
ZET-1D      1      1      5500600      400
C
C      START UTASITAS A FENTI UTASITASSOR ISMETELT
C      VEGREHAJTASARA
START      1      1      9591111      1
***
```

A ciklusszámlálót a ZET-1D modul állítja be, amikor elérjük a megengedett maximális lépésszámot.

Az output vezérlése

A tranziens számítás végrehajtásakor az egyes időpontokban csak bizonyos adatokat akarunk kinyomtatni, ill. megőrizni. Emellett viszont nagyobb szakaszokon az összes fontosabb adatot ki akarjuk nyomtatni.

Bizonyos adatok tárolására az egyes integrálási ciklusok lefutásakor a ZWERG modul áll rendelkezésre. Az összes fontos adat outputjához szükséges utasításokat egy további SPEICHER-ben célszerű tárolni, pl.

```
C
C      SPEICHER AZ ADATOK ROEGZITETT INTERVALLUMOKBAN
C      TOERTENOE KINYOMTATASAHoz
SPEICHER          1          1          0    9591113          1
DRUCKEN
DRUCKE            1          0          3
5501200    5501300    5500600T
***
```

Ha ezt a SPEICHER-t az integrálási ciklus minden 20. futásánál akarjuk hívni, akkor ezt a ZAEHL utasítással lehet megoldani. Mivel a modulok protokolljának csekély az információs értéke az összes fontos adat kinyomtatása közt, ezért a 9591113-as SPEICHER-be még a nyomtatók ki- és bekapcsolását is be lehet építeni a DR-SETZ utasítás segítségével, úgy hogy csak a fontos adatok kerüljenek kinyomtatásra. Végül vissza kell állítani ennek a nyomtató SPEICHER-nek a vezérlésére szolgáló számlálót.

```
C
C      SPEICHER ROEGZITETT INTERVALLUMOKBAN VALO
C      ADATNYOMTATASRA
SPEICHER          1          1          0    9591113          1
DRUCKEN
```


C

C A NYOMTATO BEKAPCSOLASA:

C

DR-SETZ 1

DRUCKE 1 0 3

5501200 5501300 550600 T

C

C A NYOMTATO KIKAPCSOLASA:

C

DR-SETZ 0

C

C A NYOMTATASI INTERVALLUMOK SZAMLALOJANAK

C VISSZAALLITASA

SZAEHL 1 0

Az integrálási lépéshossz vezérlése

Az eddigiekben az időlépéseket az 5501700 blokkszámú idővektorral adtuk meg. Ez a mikroidővektor kötelező jelleggel előírja a hővezetési modulok integrációs intervallumait. Az összes többi olyan modulra, melyeket még csatolunk az integráló ciklushoz, a STEP modullal növelhető az integrálási lépéshossz.

Ez a következőképpen valósul meg: a STEP modul a sugarak ill. hőmérsékletek extrapolált változásaiból és ezeknek a mennyiségeknek a megengedett maximális változásából kiszámít egy maximális $\Delta\tau_1$ időlépést. Ennek az időlépésnek a felhasználása előtt ellenőrzi, hogy ebbe az időintervallumba esik-e a makro idővektor valamelyik időpontja /blokkszáma 5501700/. Ha igen, akkor úgy csökkenti $\Delta\tau_1$ -t, hogy az integrálási lépés végén éppen elérje a makroidő-vektor idejét. A makroidő-vektort vagy a MAKZEIT modullal, vagy egyszerűen a VEKTOR utasítással állíthatjuk elő.

Az így meghatározott makroidő-intervallumokra az integrálási ciklusba foglalt modulok egyszer kerülnek hívásra, miközben a hővezetési modulok annyi mikroidőlépést integrálnak, amennyi a makroidőlépésnek megfelel.

5. A HONOSÍTÁS EDDIGI EREDMÉNYEI

Az SSYST-2 kódrendszer honosítását 1982. őszén kezdtük el. A feladat megoldásánál a vártnál több probléma jelentkezett, amelyek közül különösen az a procedura okozott jelentős idővesztést, amelynek során kiderítettük, hogy a programot csonkán, több mint 5000 sor hiányával kaptuk meg. A modulok ujrafordításánál is támadtak nehézségek, így jelenleg a honosítás még nem fejeződött be.

A kódrendszer kipróbálását egyszerű teszt feladatok futtatásával, amelyek csak néhány modult használnak, célszerű kezdeni. Ezt illusztrálja az előző fejezetben input kártyáival ismertetett stacioner hővezetési feladat. Az eredmények egy részletét a 2. mellékletben mutatjuk be.

A program további tesztelése részben a VVER-440 típusú üzemanyagrudakra vonatkozó egyszerűbb számításokkal, majd a RELAP-SSYST kapcsolat /lásd 2.8/ kipróbálásával - a rendelkezésre bocsátott tesztfeladatok segítségével - folytatódhat.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az SSYST-2 az üzemanyagrud normálistól eltérő körülmények közt lejátszódó tranziensének modellezésére létrehozott flexibilis eszköz, amely alkalmazható a biztonsági kísérletek analizálására is. A modell számítások a kísérleti eredményekkel jó egyezést mutatnak. Másrészt viszont a burkolat deformációjának számítási pontossága korlátozott annak következtében, hogy a kezdeti állapotban és a termohidraulikai peremfeltételekben jelentős bizonytalanságok vannak. Az üzemanyagrud forgás-szimetriájának tökéletlenségeit - amelyek nagy valószínűséggel mindig fellépnek - nehéz pontosan modellezni, bár az egyszerűsített modellekkel végzett számítások jó kvalitatív egyezést mutatnak a kísérleti eredményekkel. Nagyon fontos, hogy ezek a tökéletlenségek a globális rud-deformáció mértékének csökkentése irányában hatnak.

A rendszer jelenlegi formájában, alkalmas a nagy töréses LOCA vizsgálatára. A kis töréses hűtőközegelvezetési üzemzavari /SB-LOCA/ analízishez és az ilyen típusú balesetekhez kapcsolódó kísérletek vizsgálatához tovább kell fejleszteni a modelleket és szükség van olyan új fűtőanyag-burkolat kölcsönhatás modellekre, amelyek magasabb hőmérsékleten érvényesek. Ezen felül sok alkalmazásban szükség lehet alkalmas 2 fázisú termohidraulikai számításokra is. A rendszer moduláris szerkezete lehetővé teszi az ebbe az irányba való fejlesztést anélkül, hogy az alapvető koncepciót változtatni kellene.

A program szerzőitől származó információ szerint az SSYSY-3 kódváltozat, - amely az előzőek szerinti továbbfejlesztés egy újabb állomása - rövidesen elkészül és a felhasználók, az SSYST-2-vel szerzendő tapasztalatok birtokában felkészülhetnek e változat nem túl távoli jövőbeli alkalmazására.

7. IRODALOM

- [1] H. Borgwaldt, W. Gulden: SSYST, a Code-System for Analysing Transient LWR Fuel Rod Behaviour under Off-Normal Conditions. KfK-3359 report /1982/
- [2] R. Meyder: SSYST-2 Eingabe beschreibung und Handhabung. KfK-2966 report /1980. november/
- [3] L. Ehnis: ZETHYD, a SSYST-Module for Solving Simultaneously the Heat Conduction Equation in the Fuel Rod and the Energy Equation in the Corlant Channel. KfK-3048 report /1980. október/
- [4] R. Meyder: Modelle zum Brennstabverhalten. KfK-IRE-Primärbericht, PNS-Nr. 499/80 /1980. júlus/

ABABS	abszolút kifejezések összehasonlítása
ABREL	relatív kifejezések összehasonlítása
ABS	abszolút érték képzése
ADD	konstans hozzáadása mátrixhoz
AINT	abszolút érték egész részének képzése
ARCCOS	a cosinus inverzének kiszámítása
ARCSIN	a sinus inverzének kiszámítása
ARCTAN	a tangens inverzének kiszámítása
AZI	modul a rud deformációjára, oxidációjára stb. gyakorolt azimutális hatások számítására
BIB-LIST	a 'BASIS/BIB' könyvtárak tartalomjegyzékének kinyomtatása
BIB-TAPE	a 'BASIS/BIB' könyvtárakból szekvenciális file-ra való írás
BIBSTAT	könyvtári statisztikák kinyomtatása
BLMOD	almátrix létrehozása
COS	cosinus számítása
DELTA	sorok vagy oszlopok szerinti különbség
DR-SETZ	nyomkövetés aktivizálása/leállítása
DRUCKE	adatblokkok kinyomtatása
EQ	logikai összehasonlítás
ERMI-BIB	a 'BASIS/BIB' könyvtárakba való beolvasztás, ill. helyettesítés
ERMI-UBI	az 'UBI' könyvtárakba való beolvasztás, ill. he- lyettesítés
ERS-BIB	a 'BASIS/BIB' könyvtárakba való helyettesítés
ERS-UBI	az 'UBI' könyvtárba való helyettesítés
EXP	exponenciális hatvány számítása
EXPM	negatív argumentum exponenciális hatványának számítása
EXT	könyvtári tartalomjegyzék felülírása
EXT-SETZ	könyvtári tartalomjegyzék felülírása
FLOAT	lebegőpontosra való konvertálás
FUNKTBL	mátrix létrehozása soraiból, ill. oszlopaiból

GENSTEU	általános vezérlőblokk generálása
GENT	anyagi jellemzők táblázatának generálása
HALB	közbülső értékek interpolációja
HRODE2	modul a rud deformációjának számítására
HYDRA	az entalpia egyensúly számítása hűtőközeg csatornában
HYEMA	interface modul, amely a RELAP-et kapcsolja a HYDRA vagy ZETHYD modulhoz
INDEX	az adatblokkok tartalomjegyzékének kinyomtatása
INT	konvertálás egészre
INTEGRAL	integrálás végrehajtása
INTERPOL	interpolálás 1 dimenzióban
INTPOL2D	interpolálás 2 dimenzióban
INVEKTOR	egész adatokból álló vektor létrehozása
KART-BIB	kártya input beolvasása a 'BASIS/BIB' könyvtárakba
KART-UBI	kártya input beolvasása az 'UBI' könyvtárba
KOMBSP	egyenlő számú sorral rendelkező mátrixok összefésülése
KOMBZ	egyenlő számú oszloppal rendelkező mátrixok összefésülése
LN	természetes logaritmus képzése
LOG10	10-es alapú logaritmus képzése
LSCH-BIB	törlés a 'BASIS/BIB' könyvtárakból
LSCH-UBI	törlés az 'UBI' könyvtárból
MAKZEIT	a makro időlépés beállítása
MATADD	mátrixok összeadása
MATDIV	reciprokok képzése komponensenként
MATDREH	mátrix tükrözés soronként vagy oszloponként
MATGL	lineáris egyenletrendszer megoldása
MATINV	mátrix invertálás
MATMAL	mátrixok szorzása elemenként
MATMSKAL	mátrix szorzása skalárral
MATMSP	mátrix szorzás oszloponként
MATMULT	mátrixok szorzása
MATMZ	mátrix szorzás soronként
MATRIX	mátrix létrehozása
MATSUB	mátrixok kivonása

MATSUM	mátrix soraiból/oszlopaiból álló vektor összegzése
MATTEIL	mátrix osztása elemenként
MATTRANS	mátrix transzponálása
MINUS	előjelváltás
MISCH-BIB	a 'BASIS/LIB' könyvtárakba való beépítés
MISCH-UBI	az 'UBI' könyvtárba való beépítés
MITTEL	időlépéseken vett átlag
MODIF	az SSYST vezérlő rekordjaiból álló blokk módosítása
MODSTEU	általános vezérlőblokk módosítása
NE	logikai összehasonlítás
NORMBL	mátrix normálás
NORMM	mátrix normálás a maximális elemmel
NORMSP	oszlopok normálása
NORMZ	sorok normálása
NUMKOR	blokk duplikálása
PIPRE	modul a rud belsejében levő gáznyomás számítására
PLOT	primer-plot készítése
PLOTH	primer-plot készítése
POWER	hatványozás
RANDM	modul a peremfeltételek feldolgozására
RAWAK	a WAK modulból származó peremfeltételek feldolgozása
REFLOS	a feltöltési és ujrancedvesítési fázis modellezése
REL-BIB	interface-modul a RELAP-ből származó peremfeltételekhez
RIBDTH	hasadási termék leltár számítása
SIN	sinus számítás
SPAGAD	modul a rud belsejében levő gáznyomás számítására
SPEICHER	SSYST vezérlőrekordokból blokk létrehozása
SQRT	négyzetgyök számítása
STADEF	modul a rud deformációjának számítására
STANZE	adatblokkok kilyukasztása
START	a 'SPEICHER' utasítással létrehozott makro végrehajtása
STEP	a különböző modulok időlépéseinek egyeztetése
STEUMOD	kulcsszó lista létrehozása

STRUKTUR	blokk duplikálása és a formai specifikáció megváltoztatása
STT-2D	modul az egyensulyi hőmérsékletmező számítására, 2 dimenzióban
SUB	konstans kivonása mátrixból
SVEKTOR	vektor létrehozása a szövegszerű adatokból
SZAEHL	számláló beállítása /ciklus inicializálásakor/
TAN	tangens számítása
TANH	hiperbolikus tangens számítása
TEST,TEST1,...,	olyan felhasználói modulokra vonatkozó kulcs-
TEST5,TEST6	szavak, melyekhez nincs szükség külön inputra
TEST7,...,	olyan felhasználói modulokra vonatkozó kulcs-
TEST9	szavak, melyekhez külön inputra is szükség van
TEXT	komment kinyomtatása
UBI-LIST	az 'UBI' könyvtár tartalomjegyzékének kinyomtatása
UBI-TAPE	az 'UBI' könyvtárból szekvenciális file-ba írás
URGAP	a rés hővezetésének számítására szolgáló modul
VARIO	szabad formátumu, ill. szimbolikus input feldolgozása
VEKTOR	valós adatokból vektor létrehozása
VGL	logikai összehasonlítás
WAK	a feltöltési és ujrancedvesítési fázis modellezése
WERBL	anyagi jellemzők táblázatának létrehozása
WUEZ	modul a rés hővezetésének számítására
ZAEHL	számláló növelése /ciklusok végrehajtásakor/
ZET-1D	modul a tranziens hővezetés számítására, 1 dimenzióban
ZET-2D	modul a tranziens hővezetés számítására, 2 dimenzióban
ZETHYD	modul a rud tranziens hővezetésének és a hűtőközeg csatorna entalpia egyensúlyának együttes számítására
ZETSIM	a ZET-1D/2D időfelosztó funkcióját szimulálja
ZIRKOX	modul a Zirkaloy oxidáció számítására
ZWEIG	logikai kapcsoló beállítása
ZWERG	plot-file készítése, ill. írása

12 REAL-WERTE

9.9998E 01 0.0 5.9999E-01 7.0000E 06 5.0000E-02 5.0000E-03 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0

1 TEXT-KARTEN

SSYST STEUERBLOCK (SSYST GENERAL INPUT DATA-BLOCK)

2. sz. melléklet

MOORE-PARAGON

BLOCKNUMMER: 5501200. REAL-MATRIX

NEUE TEMPERATUREN IN GRD K (NEW TEMPERATURES IN K)

ZEILE/SPALTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	5.5235E 02	5.5285E 02	6.4636E 02	6.6328E 02	6.6591E 02	6.5291E 02	6.3335E 02	5.5691E 02	5.5691E 02
2	5.5285E 02	5.5284E 02	6.4421E 02	6.6070E 02	6.6326E 02	6.5069E 02	6.3162E 02	5.5691E 02	5.5691E 02
3	5.5285E 02	5.5285E 02	6.3846E 02	6.5378E 02	6.5642E 02	6.4475E 02	6.2698E 02	5.5691E 02	5.5691E 02
4	5.5285E 02	5.5285E 02	6.2650E 02	6.3946E 02	6.4227E 02	6.3241E 02	6.1731E 02	5.5691E 02	5.5691E 02
5	5.5285E 02	5.5285E 02	6.1765E 02	6.2415E 02	6.2714E 02	6.1916E 02	6.0687E 02	5.5691E 02	5.5691E 02
6	5.5285E 02	5.5285E 02	6.0222E 02	6.1059E 02	6.1374E 02	6.0739E 02	5.9755E 02	5.5691E 02	5.5691E 02
7	5.5285E 02	5.5285E 02	5.9380E 02	6.0064E 02	6.0391E 02	5.9872E 02	5.9066E 02	5.5691E 02	5.5691E 02
8	5.5285E 02	5.5284E 02	5.9936E 02	5.9541E 02	5.9873E 02	5.9415E 02	5.8701E 02	5.5691E 02	5.5691E 02
9	5.5285E 02	5.5285E 02	5.7693E 02	5.8091E 02	5.8447E 02	5.8147E 02	5.7677E 02	5.5692E 02	5.5691E 02
10	5.5285E 02	5.5285E 02	5.6110E 02	5.6246E 02	5.6635E 02	5.6532E 02	5.6371E 02	5.5691E 02	5.5691E 02

BLOCKNUMMER: 5501300. REAL-MATRIX

SSYST STEUERBLOCK (SSYST GENERAL INPUT DATA-BLOCK)

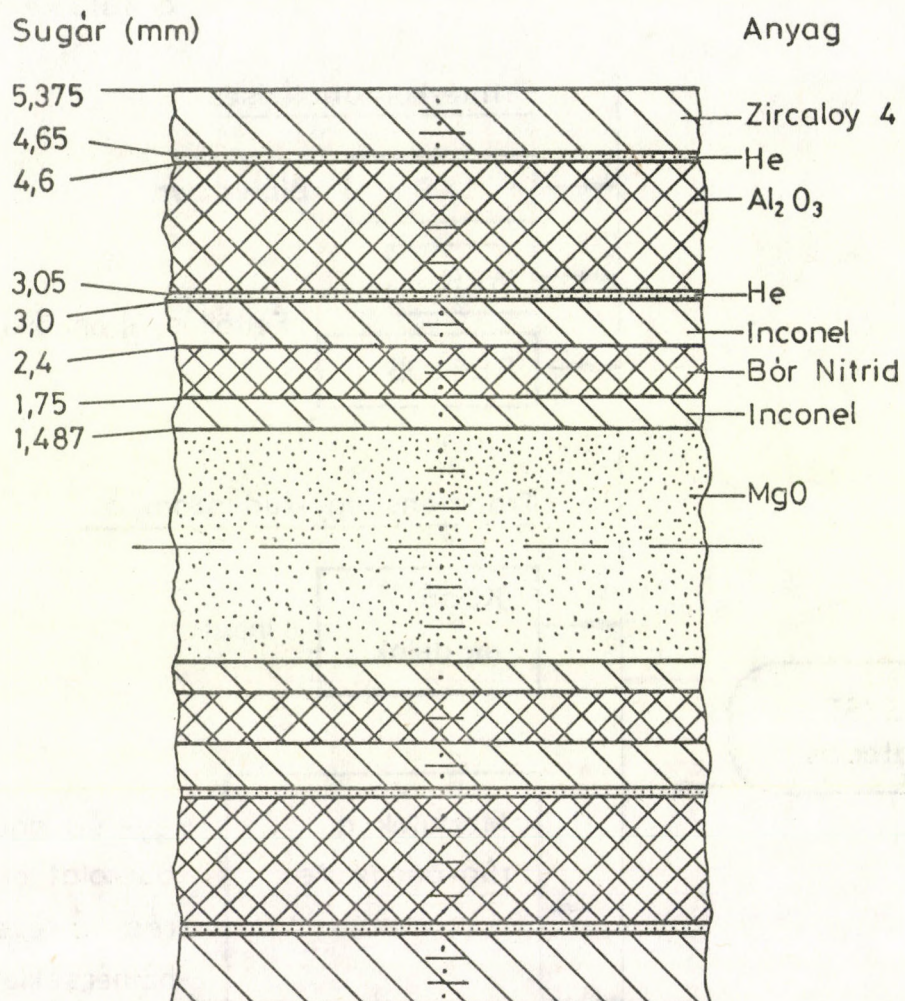
CLAD-TEMP.

ZEILE/SPALTE	1	2	3
1	5.5285E 02	5.5285E 02	5.5285E 02
2	5.5285E 02	5.5285E 02	5.5285E 02
3	5.5723E 02	5.6586E 02	5.8824E 02
4	5.5795E 02	5.6801E 02	5.9408E 02
5	5.6193E 02	5.7179E 02	5.9742E 02
6	5.6138E 02	5.7017E 02	5.9300E 02
7	5.6053E 02	5.6764E 02	5.8609E 02
8	5.5691E 02	5.5691E 02	5.5691E 02
9	5.5691E 02	5.5691E 02	5.5691E 02

===== DELTA-T= 0.015, T-GESAMT= 3.985

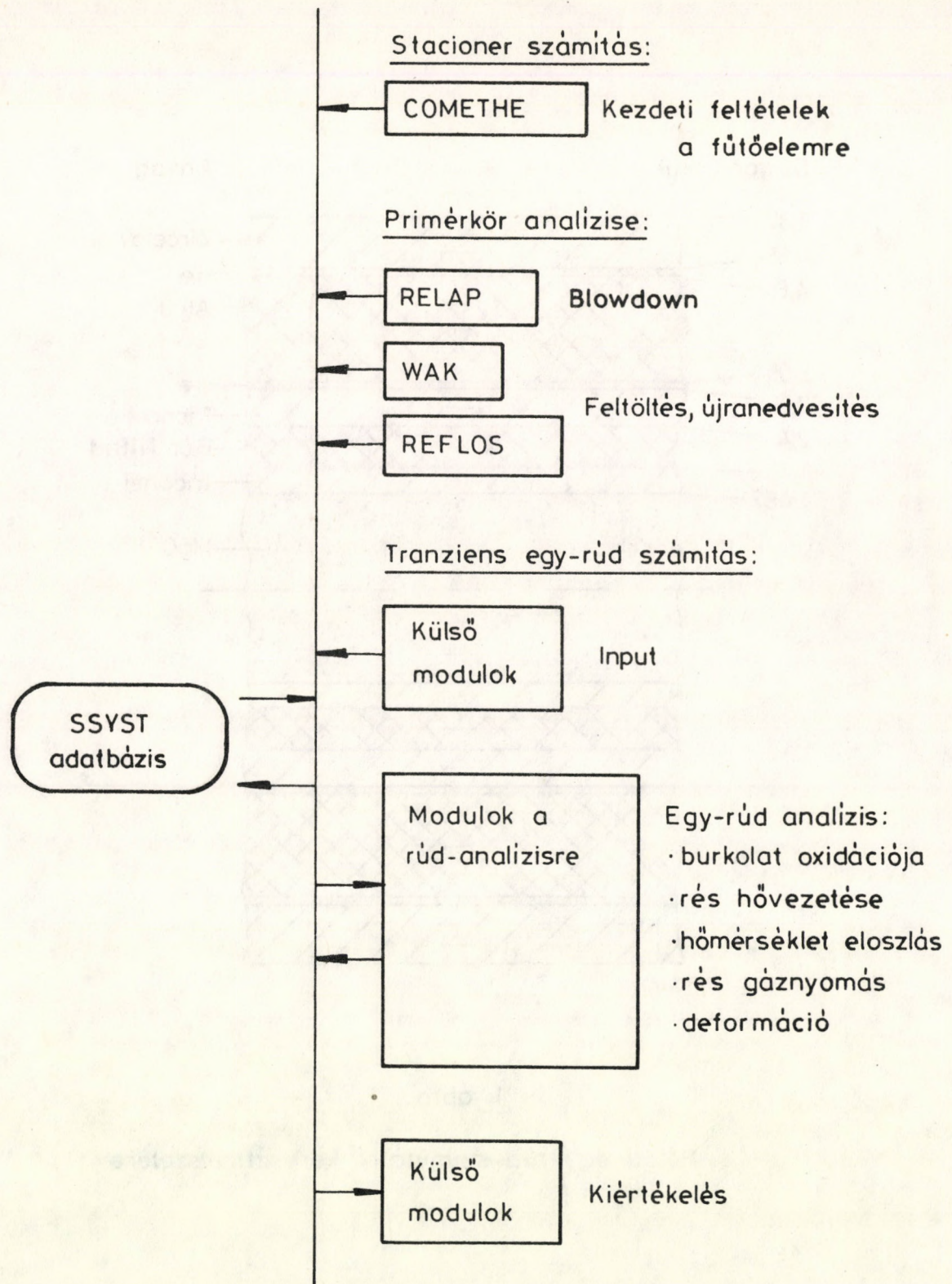
KENNUNG : 83 DR-SETZ 0 0 0 0 0

===== DELTA-T= 0.001, T-GESAMT= 3.986



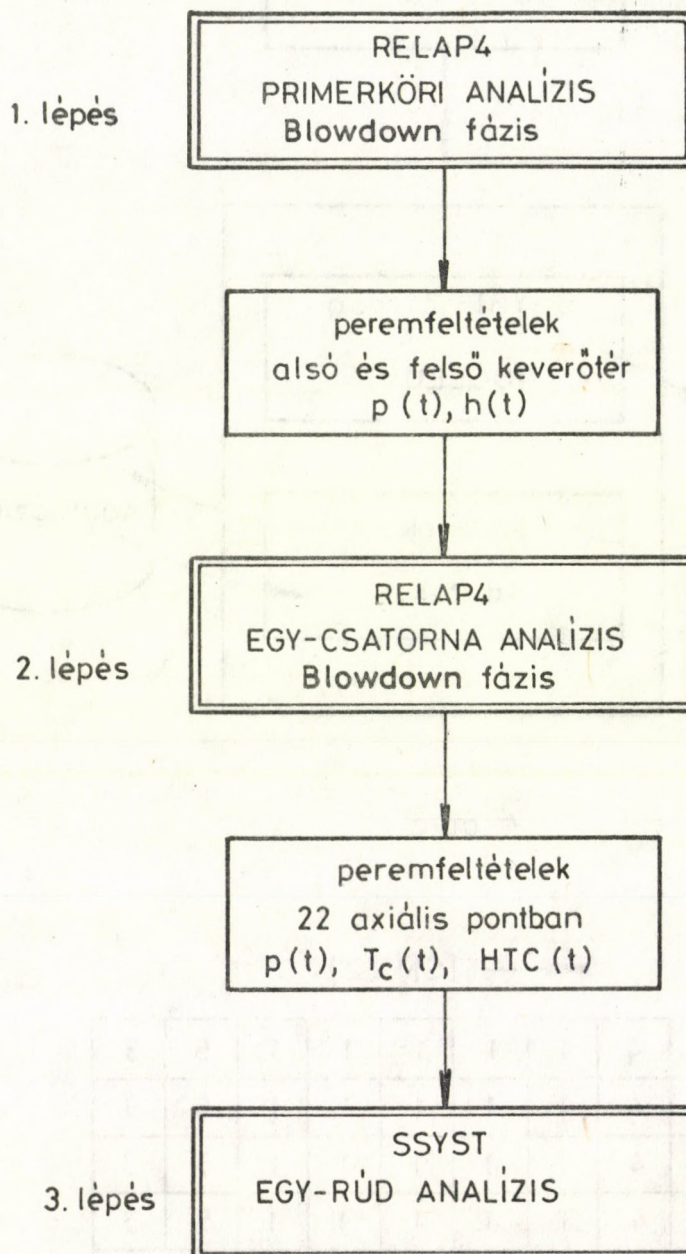
1. ábra.

Példa egy rúd-szimulátor keresztmetszetére



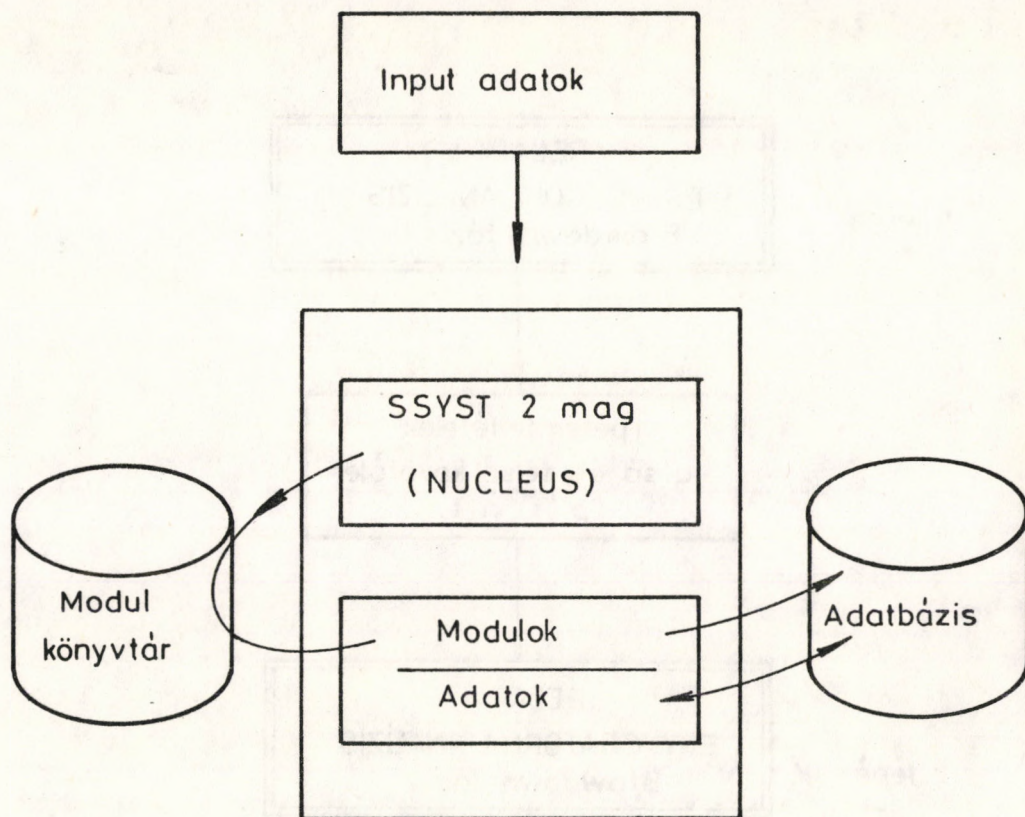
2. ábra.

Fűtőelem biztonsági analízis.



3. ábra.

LOCA szimuláció RELAP4-gyel és SSYST-tel.



4. ábra.

← IGM (Z)

3	4	1	1	1	1	1	5	3
3	4	1	1	1	1	1	5	3
3	4	1	1	1	1	1	5	3
3	4	1	1	1	1	1	5	3
3	4	1	1	1	1	1	5	3
3	4	1	1	1	1	1	5	3
3	4	1	1	1	1	1	5	3
3	4	1	1	1	1	1	5	3
3	4	-2	-2	-2	-2	-2	5	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3

↓
IHM (r)

5. ábra.

Anyagi jelzőszámok mezője 1 UO_2 , -2 He, 3 Zry, 4 és 5 alsó és felső gázplénium.

63.347



Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet
Felelős kiadó: Gyimesi Zoltán
Szakmai lektor: Tóth Iván
Példányszám: 52 Törzsszám: 83-105
Készült a KFKI sokszorosító üzemében
Felelős vezető: Nagy Károly
Budapest, 1983. február hó